

## Kol-Kızak Mekanizmasında 3B Yazıcı ile Farklı Üretim Parametrelerine Sahip Krankların Dinamik Performansa Etkisi: YSA Tabanlı Bir Analiz

Çağlar Sevim<sup>\*1</sup>, İbrahim Uzman<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği, NİĞDE

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği, KAYSERİ

\*Sorumlu Yazar: Çağlar Sevim

(Alınış / Received: 20.12.2024, Kabul / Accepted: 30.12.2024, Online Yayınlanma / Published Online:31.01.2025)

### Anahtar Kelimeler

Eklemeli imalat,  
Makine dinamiği,  
Üretim parametreleri,  
Yapay sinir ağları,  
Dinamik analiz

**Öz:** Kol-kızak mekanizması, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan temel mekanizmalardan biridir. Bu çalışmada, kol-kızak mekanizmasında, çeşitli üretim parametrelerine sahip 3B yazdırılmış krank uzuvlarının dinamik etkilerini analiz etmek amacıyla Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. Farklı üretim parametrelerine sahip uzuvların 3B yazıcı ile üretilerek bu uzuvların mekanizmanın performansına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yapay sinir ağı modeli, Levenberg-Marquardt, Bayesian Regularization ve Scaled Conjugate Gradient eğitim algoritmaları kullanılarak optimize edilmiştir. Modelin performansı, çift katmanlı yapılandırma ile önemli ölçüde iyileştirilmiş, en iyi tahmin sonuçları logsig ve tansig aktivasyon fonksiyonları ile elde edilmiştir. Sonuçlar, 4212 farklı ağ kombinasyonu üzerinden değerlendirilmiş, en iyi tahmin sonuçları iki gizli katmana sahip yapay sinir ağı yapısında 0,999906 R<sup>2</sup>, 0,118938 RMSE ve 0,081985 MAE değerleri ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar, mekanizma çıktılarını yüksek doğrulukla modelleyebilen bir YSA'nın geliştirilmesini sağlamıştır.

## The Effect of Cranks with Different Printing Parameters in the Arm-Slider Mechanism Using 3D Printing on Dynamic Performance: An ANN-Based Analysis

### Keywords

Additive manufacturing,  
Machine dynamics,  
Production parameters,  
Artificial neural networks,  
Dynamic analysis

**Abstract:** The inverted slider-crank mechanism is a fundamental mechanism commonly used in industrial applications. This study employs Artificial Neural Networks to analyze the dynamic effects of three-dimensional printed crank components with various production parameters on the inverted slider-crank mechanism. Specimens produced with different production parameters were experimentally examined to determine their impact on the mechanism's performance. The Artificial Neural Network model was optimized using Levenberg-Marquardt, Bayesian Regularization, and Scaled Conjugate Gradient training algorithms. The model's performance was significantly improved with a dual-layer configuration, achieving the best prediction results with logistic sigmoid and hyperbolic tangent activation functions. The results were evaluated across 4212 different network combinations, with the best predictive outcomes obtained in an artificial neural network structure with two hidden layers, achieving an R<sup>2</sup> of 0.999906, a Root Mean Square Error of 0.118938, and a Mean Absolute Error of 0.081985. These results have facilitated the development of an Artificial Neural Network capable of modeling the mechanism outputs with high accuracy.

### 1. Giriş

Krank-biyel mekanizmaları içten yanmalı motorlardan endüstriyel makinelere kadar çok sayıda mekanik sistemde yaygın olarak kullanılmaktadır. Krank-biyel mekanizmasının bir türevidir ve literatürde hızlı dönüş mekanizması veya ters krank-biyel mekanizması (quick-return mechanism or inverted slider-crank mechanism)

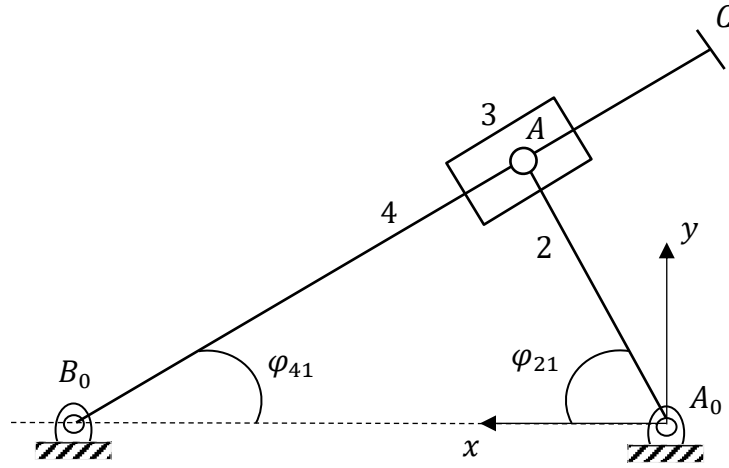
[1,2] olarak da adlandırılan kol-kızak mekanizması, döner hareket gerçekleştiren bir krank uzvu ve ona bağlı kayar bir uzuv ile, bu kayar uzvun üzerinde hareket ettiği ve salınım hareketi yapan çıkış uzvuna sahiptir. Çıkış uzvuna farklı mekanizma eklentileri ile var-gel tezgâhları, testere tezgâhları gibi farklı makinelerde kullanılan temel tahrik mekanizmalarındandır. Üç boyutlu (3B) yazdırma gibi eklemeli imalat (Eİ) teknolojilerinin günümüzde hızla gelişmesi ile birlikte bu tür mekanizmaların bileşenlerinin farklı üretim parametreleri ile tasarlanıp üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Eklemeli imalat, geleneksel imalat yöntemlerine kıyasla, hızlı prototipleme, karmaşık geometri yapıları kolayca elde edebilme imkânı ve malzeme kullanımını optimize etme gibi önemli avantajlara sahiptir. Böylece uygulamada kullanılan mekanizmaların uzuvları farklı üretim parametreleri ile üretilebilmektedir. Bu parametre değişimleri, uzuvların rijitlik, dayanım, kütle ve esneklik özelliklerini etkileyerek mekanizmanın dinamik davranışı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Sevim ve ark. [3] farklı yazdırma parametreleri ile üretilmiş krank uzuvlarının, krank biyel mekanizmasının dinamiği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Literatürde aynı zamanda farklı yazdırma parametrelerinin mekanik etkilerine yönelik çeşitli çalışmalar mevcuttur [4]. Ayrıca eklemeli imalat yöntemi ile farklı amaçlar için kullanılan birçok mekanizma çalışmaları mevcuttur. Bunlar arasında, 3B yazdırılmış kavrama mekanizmaları [5], yapay el ve parmak mekanizmaları [6-9], esnek aktüatörler [10,11], robot mekanizmaları [12-13], rehabilitasyon araçları [14-16] ve daha farklı esnek ve yenilikçi mekanizmalar [17,18] uygulamalar mevcuttur.

Mekanizmaların dinamiklerine etki eden çok sayıda değişken bulunmaktadır ve bu değişkenlerin analitik yöntemlerle tam olarak modellenmesi zordur. Bu problemi aşmak amacıyla, yapay zekâ temelli çözüm yaklaşımları üzerinde kapsamlı çalışmalar gerçekleştirilmiş ve pratik uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Böylelikle, mekanizmaların karmaşık davranışlarını daha yüksek doğrulukla modellemek ve öngörmek mümkün hâle gelmiştir [19,20,21]. Özellikle Yapay Sinir Ağları (YSA), karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri modelleme yetenekleri sayesinde, farklı üretim parametrelerinin mekanizmanın dinamik davranışı üzerindeki etkilerini tahmin etmede etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu sayede, mekanizma davranışına etki eden çok sayıda üretim parametresi, deneysel veriler ışığında YSA modelleri ile başarıyla ilişkilendirilebilmektedir.

Bu çalışmada, kol-kızak mekanizmasında 3B yazıcı ile farklı üretim parametrelerinde üretilen krank uzuvlarının, mekanizmanın çıkış uzvu konumu üzerindeki dinamik etkileri deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen veriler YSA ile modellenmiştir. Burada literatürde yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları (logsig, tansig, pureline) ve farklı eğitim algoritmaları (trainlm, trainbr, trainscg) [22-25] ile tek ve çift katmanlı sinir ağları denenmiş, sonuçlar belirleme katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karekök hatası (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) gibi performans metrikleri ile değerlendirilmiştir. Böylece, eklemeli imalat parametrelerinin mekanizma davranışına olan etkileri veri odaklı bir yaklaşımla irdelenmiş hem imalat hem de tasarım aşamalarında yol gösterici bilgiler elde edilmiştir.

## 2. Kol-Kızak Mekanizması

Endüstride krank biyel ve dört çubuk gibi düzlemsel mekanizmalar temel tahrik mekanizması olarak geniş bir alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu mekanizmaların özel bir hali olan kol-kızak mekanizması ise döner harekete sahip tahrik uzvu, bu uzva bağlı bir kayar uzuv ve kayar uzva bağlı, salınım hareketi yapan çıkış uzvundan meydana gelmektedir. Farklı eklentilerle vargel ve testere mekanizmaları gibi birçok kullanım alanına sahiptir. Mekanizmanın hareket karakteristiği incelendiğinde çıkış uzvunun salınım hareketi yapması nedeniyle krankın esnekliğinin kinematik ve dinamik parametreleri önemli oranda etkileyeceği açıktır. Kol-kızak mekanizmasının şematik gösterimi ve rijit uzuvlu temel mekanizmaya ait tasarım parametreleri sırasıyla Şekil-1 ve Tablo-1' de verilmiştir.



Şekil 1. Kol-kızak mekanizmasının şematik gösterimi

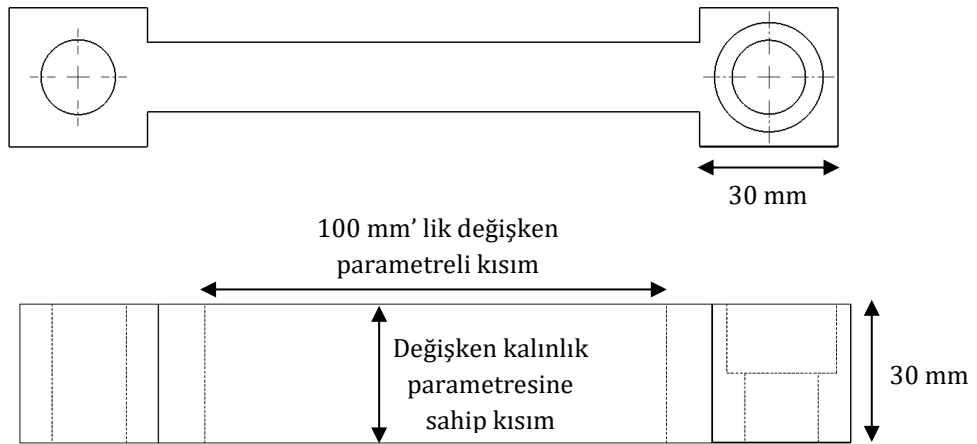
Tablo 1. Çalışmada kullanılan kol-kızak mekanizması parametreleri

Uzunluk (mm)				Kütle (kg)			Atalet momenti (kgm <sup>2</sup> )		
$A_0A$	$A_0G_2$	$A_0B_0$	$B_0G_4$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$IG_2$	$IG_3$	$IG_4$
150	59.06	500	288.723	0.3231	0.3201	0.881	0.001126	0.000101	0.048144

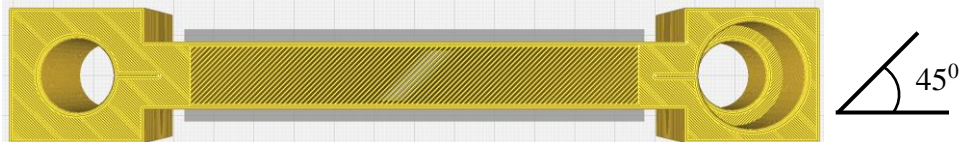
### 3. Deneysel Çalışma

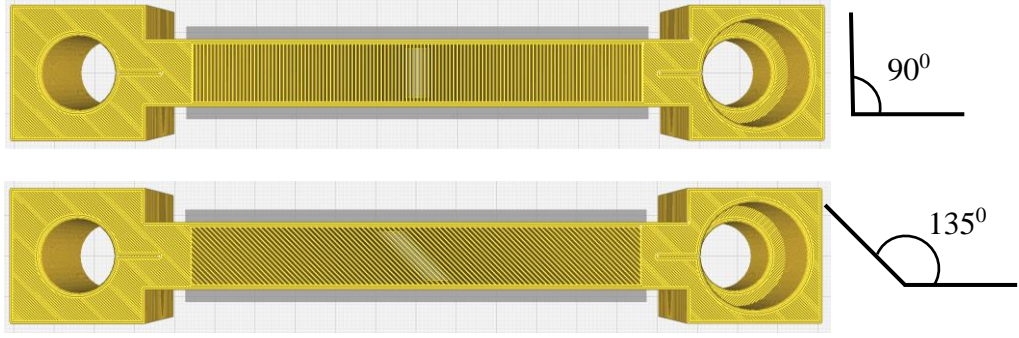
#### 3.1. Deney numunelerinin üretimi

Deneysel çalışmalarda, kol-kızak mekanizmasının dinamik davranışını incelemek amacıyla, krank uzvu 3B yazıcı kullanılarak farklı üretim parametreleri ile üretilmiştir. Krank uzuvlarının Şekil 2' de verildiği üzere, orta kısımdaki 100 mm' lik bölümü; 45°, 90° ve 135° yazdırma açılarında (YA), %50, %75 ve %100 doluluk oranlarında (DO) ve 24 mm, 26 mm, 28 mm ve 30 mm kalınlıklarda (K) üretilmiş ve her bir konfigürasyonun mekanizmanın çıkış uzvu konumu üzerindeki etkileri deneysel olarak analiz edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla, rijit bir krank uzvu alüminyum malzemeden üretilmiş ve testlerde referans olarak kullanılmıştır.



Şekil 2. Değişken parametrelili krank uzvu tasarım görünümü





**Şekil 3.** %50 Doluluk oranında yazdırma açılarının G-CODE görüntüleri

%50 doluluk oranındaki farklı yazdırma açılarına ait G-CODE görüntüleri Şekil 3' de verilmiştir. Mekanizmada düzgün bağlantı yapılabilmesi amacıyla bağ noktaları %100 dolulukta yazdırılmıştır. Çalışmada %100 PLA granül esaslı 1,75 mm çaplı filament kullanılmıştır. Bu filamentin yoğunluğu  $1,252 \text{ g/cm}^3$  ve ideal yazdırma sıcaklığı  $\sim 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ' dir. Krank uzuvlarını yazdırma amacıyla 300 mm x 300 mm ısıtmalı yazdırma alanına sahip 0,01 mm hassasiyetli, X, Y ve Z eksenlerinde lineer yataklara sahip 3B yazıcı kullanılmıştır. Her bir parça eşit şartlarda ve tek tek yazdırılmış olup, belirli aralıklarla yazıcıda ölçü kontrolü ve kalibrasyonu yapılmıştır. Yazdırma parametreleri Tablo 2' de verilmiştir.

**Tablo 2.** 3B yazıcı yazdırma parametreleri

Katman kalınlığı	0,2 mm	Yazdırma hızı	30 mm/s
Hat genişliği	0,4 mm	Yazdırma sıcaklığı	200 °C
Dış duvar kalınlığı	1,2 mm	Yatak sıcaklığı	50 °C

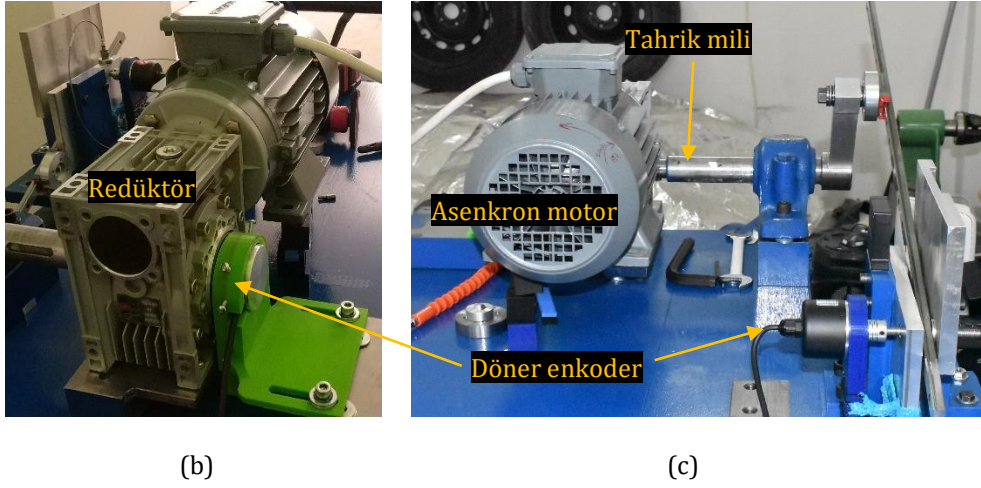
### 3.2. Deneysel sistem kurulumu

Çalışmada tasarım ve kurulumu gerçekleştirilen kol-kızak mekanizmasına ait deneysel sistem görünümü Şekil 4a' da verilmiştir. Mekanizmada tahrik kaynağı olarak, 1/10 hız dönüşüm oranlı redüktöre sahip (Şekil 4b) 1,5 kW' lık asenkron motor kullanılmıştır (Şekil 4c). Asenkron motor hızı bir motor sürücüsü ile doğrudan kontrol edilebilmekte olup, tahrik mili hızı 118,4 dev/dk seçilmiştir. Kol ve kızak arasında bağlantı ve hareket sağlamak üzere bilyeli lineer kaymalı araba ve çıkış uzvu olarak lineer yatak kullanılmıştır. Bu yataklar minimum boşluk, yüksek hareket doğruluğu ve ihmal edilebilir sürtünme katsayısına sahiptir.

Kayar araba, krankın A noktasına bağlanmış olup (Şekil 1), yatak-muyulu çiftinin sorunsuz hareketini sağlamak için bağlantı elemanında aksenal rulmanlar kullanılarak özel bir tasarım gerçekleştirilmiştir. B<sub>0</sub> bağlantı noktasında (Şekil 1), düzlemsellik ve paralellik koşullarını sağlamak amacıyla özgün bir parça tasarlanmış ve üretilmiş, yatak içerisinde iğne bilyeli rulmanlar kullanılmıştır.



(a)

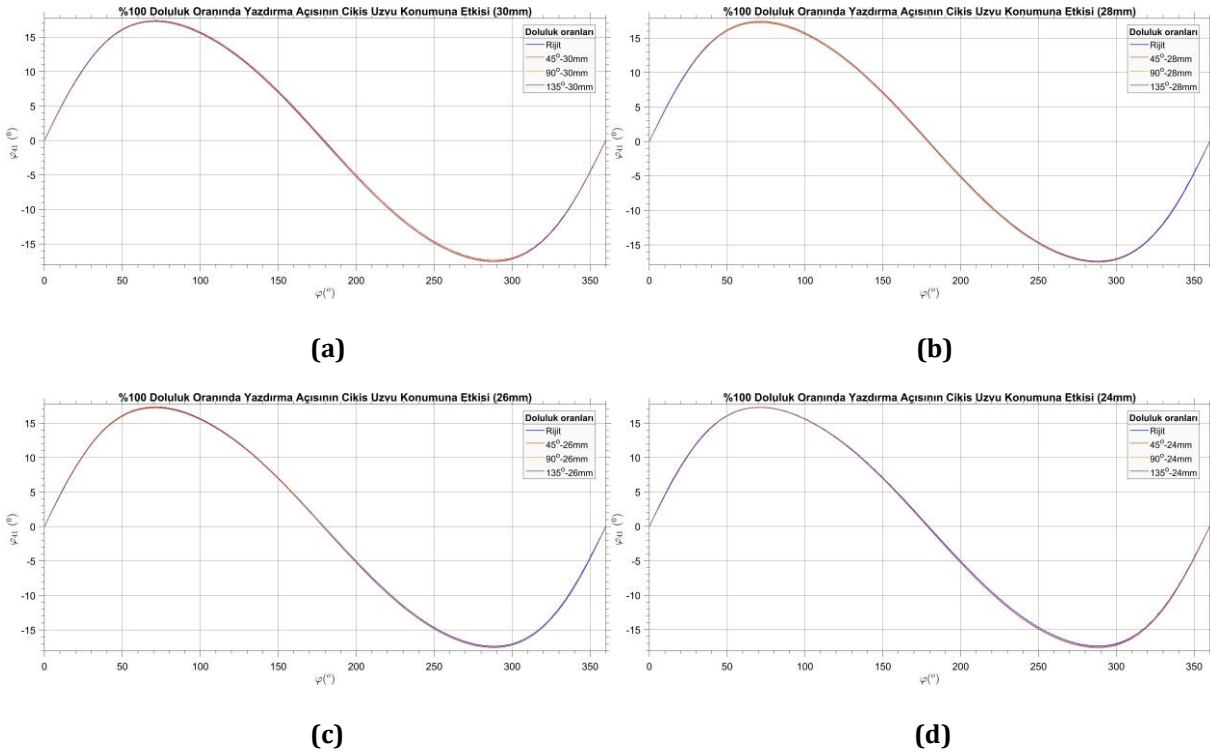


**Şekil 4.** Deneysel sistem a) Kol-kızak mekanizması deneysel sistem görünümü b) Redüktör ve tahrik mili açılal enkoder görünümü c) Tahrik mili ve çıkış uzvu açılal enkoder görünümü

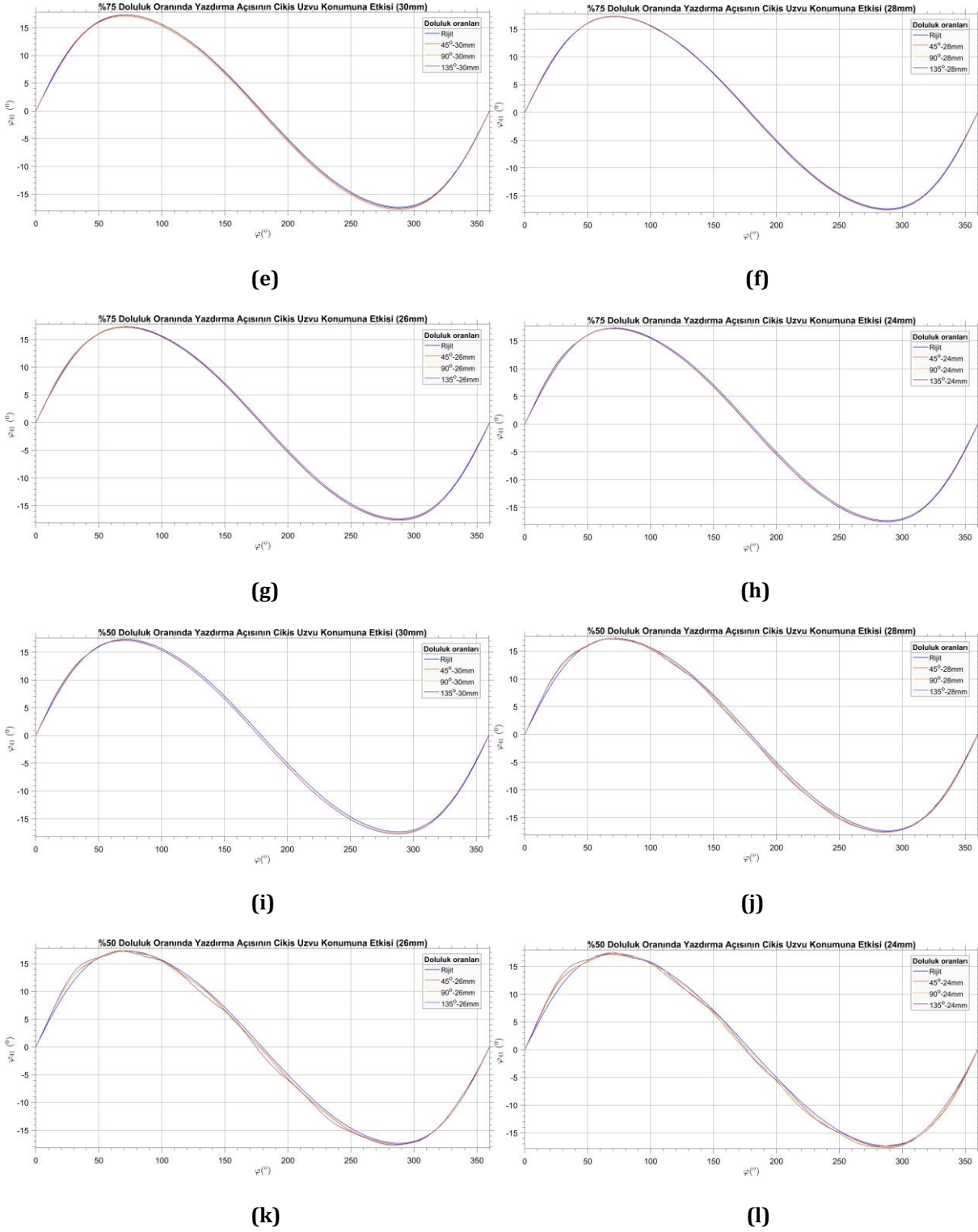
Deneysel çalışmalar, tüm testlerde aynı çalışma koşullarında gerçekleştirilmiş ve krank milinin açılal konumu başlangıçta 0 dereceye ayarlanarak başlatılmıştır. Giriş ve çıkış uzuvlarının konumlarını ölçme amacıyla tahrik miline ve çıkış miline döner enkoderler akuple edilmiştir. Deneysel sistemden veri toplanması, USB bağlantı arayüzüne sahip National Instruments USB-6251 veri toplama sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

### 3.3. Deneysel sistem sonuçları

Kol-kızak mekanizmasında çıkış uzvu salınım hareketi yaptığından dolayı, çıkış uzvunun açılal konumunu ölçmek üzere, uzvun yatakladığı noktadaki çıkış miline döner enkoder akuple edilmiştir. Kol-kızak mekanizmasında farklı yazdırma parametrelerinin çıkış uzvu konum değişimine etkileri Şekil 5’de verilmiştir. Tüm veriler giriş parametresi olan, tahrik mili açılal konum değişkenine göre verilmiştir.







**Şekil 5.** Farklı yazdırma parametrelerinin çıkış uzvu açısıl konumuna etkisi

- a) %100 DO-30mm K, b) %100 DO-28mm K, c) %100 DO-26mm, d) %100 DO-24mm  
 e) %75 DO-30mm K, f) %75 DO-28mm K, g) %75 DO-26mm, h) %75 DO-24mm  
 i) %50 DO-30mm K, j) %50 DO-28mm K, k) %50 DO-26mm, l) %50 DO-24mm

Tam doluluk (%100) ve artan kalınlık (24 mm'den 30 mm'ye) koşullarında üretilen uzuvlarda, yazdırma açısına bağlı farklılıkların çıkış uzvu açısıl konumu üzerindeki etkisi oldukça sınırlı kalmıştır (Şekil 5a-5d). %100 doluluk oranlarında elde edilen çıkış uzvu konum değişkenleri yazdırma açılarından bağımsız olarak rijit uzvu mekanizmaya ait çıkış uzvu konum değişimine yakın bir değişim göstermektedir. Doluluk oranının %75 olduğu krank uzuvlarında ise (Şekil 5e-5h) benzer davranış gözlemlense de yazdırma açısı etkisi bu doluluk oranında belirginleşmiştir. Özellikle daha ince parçalarda (24 mm ve 26 mm), düşük doluluk, uzvun iç yapısını esnemeye

daha yatkın hale getirerek yazdırma açılarının oluşturduğu yönsel farkları açısız konum eğrileri üzerinde daha net bir şekilde ortaya çıkarmıştır. Daha kalın parçalarda (28 mm, 30 mm) ise kısmi rijitlik korunmuş, bu sayede farklı baskı yönlendirmeleri arasındaki farklar nispeten sınırlı kalmıştır. Farklı yazdırma açıları birbirine yakın sonuçlar verse de rijit uzuvlu mekanizmaya en yakın sonuç 45° yazdırma açısında elde edilmiştir. Doluluk oranının %50'ye indirildiği durumda (Şekil 5i-5l) , düşük iç yoğunluk ve azalan kalınlık, yazdırma açısına bağlı farklılıkları en belirgin düzeye taşımıştır. Bu durumda parçalar daha hafif ve esnek olduğundan dolayı yazdırma açısı etkisinin daha belirgin hale geldiği görülmektedir. 30 mm ve 28 mm kalınlıkta 45° yazdırma açısı rijit mekanizmaya en yakın sonucu verirken 26 mm ve 24 mm'de 90° yazdırma açısı rijit mekanizmayı en iyi takip etmiştir.

Sonuç olarak, giriş-çıkış açısız konum ilişkisi incelendiğinde, yazdırma açısının etkisi doluluk oranı ve kalınlık gibi yapısal parametrelerle doğrudan ilişkilidir. Yüksek doluluk ve kalınlık, mekanik davranışta yazdırma açısı kaynaklı farklılıkları büyük oranda etkileyerek daha rijit bir yanıt sunarken; azalan doluluk ve kalınlık, yazdırma açısı etkilerinin belirginleşmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, istenen mekanik özelliklere ulaşmak için kalınlık, yazdırma açısı ve doluluk oranının birlikte değerlendirilmesi ve tasarım sürecinde bu parametrelerin dengeli bir şekilde seçilmesi, mekanizma performansı açısından kritik önem taşımaktadır.

#### 4. Yapay Sinir Ağları

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte yapay zekâ kavramı özellikle makine, elektronik ve yazılım alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayarlar, erken dönemlerinde sadece kendilerine verilen komutlara göre işlem yapmaktaydı. Zaman içinde, bu komutların depolanması ve bilgisayarlar tarafından işlenmesi gereksinimi ortaya çıkmıştır. Yapay zekâ, teknolojinin ilerlemesi ve üretim yöntemlerinin çeşitlenmesiyle birlikte insan düşünce ve öğrenme süreçlerinin taklit edilmesi ve bu süreçlerin bilgisayarlar aracılığıyla yürütülmesi anlamına gelir. Yapay zekâ, günümüzde otomotivden uzay araştırmalarına, tekstilden sağlığa ve pazarlamaya kadar pek çok alanda hayatımızın bir parçası haline gelmiştir.

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin bilgi işleme şeklini model olarak tasarlanmış bir yapay zekâ teknolojisidir. Beynimizdeki nöronlar arasındaki karmaşık bağlantıları ve bu bağlantılar üzerinden gerçekleşen veri işleme mekanizmalarını taklit eden YSA, öğrenme ve karar verme yeteneğini simüle etmeye çalışır. Bu sistemler, büyük veri kümelerinden öğrenerek, gözlemedikleri dünyadan anlamlı bilgiler çıkarma yeteneğine sahiptir. Otomotivden sağlık sektörüne, finansın müşteri hizmetlerine kadar birçok alanda kullanılan Yapay Sinir Ağları, modern teknolojinin en önemli bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. YSA'da genellikle ileri beslemeli yapı tercih edilir. Bu yapıda, giriş sinyalleri önce gizli katmanlar aracılığıyla işlenir ve ardından çıkış katmanına iletilir, böylece ileri doğru bir yayılım sağlanır. Çıkış sinyalleri, test verileriyle karşılaştırılarak hatalar hesaplanır. Katman ve nöron sayısının artması, karmaşık problemleri çözme kapasitesini artırır; ancak fazla sayıda nöron ve katman, öğrenme sürecini uzatabilir ve ağır ezber yapmasına neden olabilir. Bu nedenle, YSA modelinin parametrelerinin problem türüne uygun şekilde ayarlanması önemlidir. YSA' da giriş sinyalleri, genellikle deneysel sistemlerden elde edilen verilerdir. Bu sinyaller, belirlenen transfer fonksiyonları kullanılarak işlenir ve aktivasyon fonksiyonları aracılığıyla çıkış sinyallerine dönüştürülür. Bu çalışmada, literatürde sıklıkla kullanılan logsig, tansig ve pureline aktivasyon fonksiyonlarına yer verilmiştir. Hiperbolik-Tanjant fonksiyonu olarak da adlandırılan Tansig fonksiyonu  $[-1 +1]$  dinamik değişim aralığına sahip bir fonksiyondur.

$$tansig(x) = \frac{1}{(1 + e^{-2x})} - 1 \quad (1)$$

$[0 1]$  dinamik değişim aralığına sahip olan ve Sigmoid fonksiyonu olarak da adlandırılan logsig aktivasyon fonksiyonu ise;

$$logsig(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

olarak ifade edilmektedir. Purelin fonksiyonu, değişim aralığı  $[-1, +1]$  olup lineer bir değişim gösterirken; tansig ve logsig fonksiyonları lineer olmayan değişimler sergiler.

$$purelin(x) = x \quad (3)$$

Eğitim algoritmaları olarak, Levenberg-Marquardt (trainlm), Bayesian Regularization (trainbr) ve Scaled Conjugate Gradient (trainscg) kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt, Newton yöntemlerinden türetilmiş olup, Gauss-Newton ve Gradient Descent algoritmalarının kombinasyonu olarak, bu yöntemlerin sınırlamalarını aşar. Bu algoritma, Jacobian matrisi ve hata vektörü kullanarak parametreleri güncellerken, bellek kullanımı yüksek olmasına rağmen eğitim süresini kısaltır. Bayesian Regularization, ağırlıklar ve hata karelerini optimize ederek ağ kalitesini artırır. Ölçeklendirilmiş Eşlenik Gradyan algoritması ise, hesaplama yükünü azaltmak amacıyla geliştirilmiştir. Kol-kızak mekanizması için oluşturulan YSA modelinde, tek ve iki katmanlı yapılarında 4212 farklı ağ kombinasyonu test edilerek en uygun yapılar belirlenmiştir. Verilerin %70' i eğitim, %15' i doğrulama, %15' i ise test için kullanılmıştır. Giriş verileri; krankın açılma konumu, yazdırma açısı, doluluk oranı ve kalınlık iken, çıkış verileri çıkış uzvunun açılma konum değerleridir. Eğitim sonuçlarının performansını analiz etmek amacıyla, elde edilen sonuçlar istatistiksel hata değerlendirmesi, belirleme katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karekök hata (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) metrikleri ile değerlendirilmiştir.  $R^2$ ' nin 1' e yakın olması deneysel sistemden elde edilen sonuçların, hareket denklemleri çözümüne yaklaştığını gösterirken. Bağlı hatalar için RMSE ve MAE sonuçları kullanılmıştır. RMSE performans değerlendirme ölçütüdür. Bu değer 0'a yaklaşması, sonuçların verileri iyi derecede takip ettiğini gösterir. [26]

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (o_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o}_i)^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (o_i - t_i)^2} \quad (5)$$

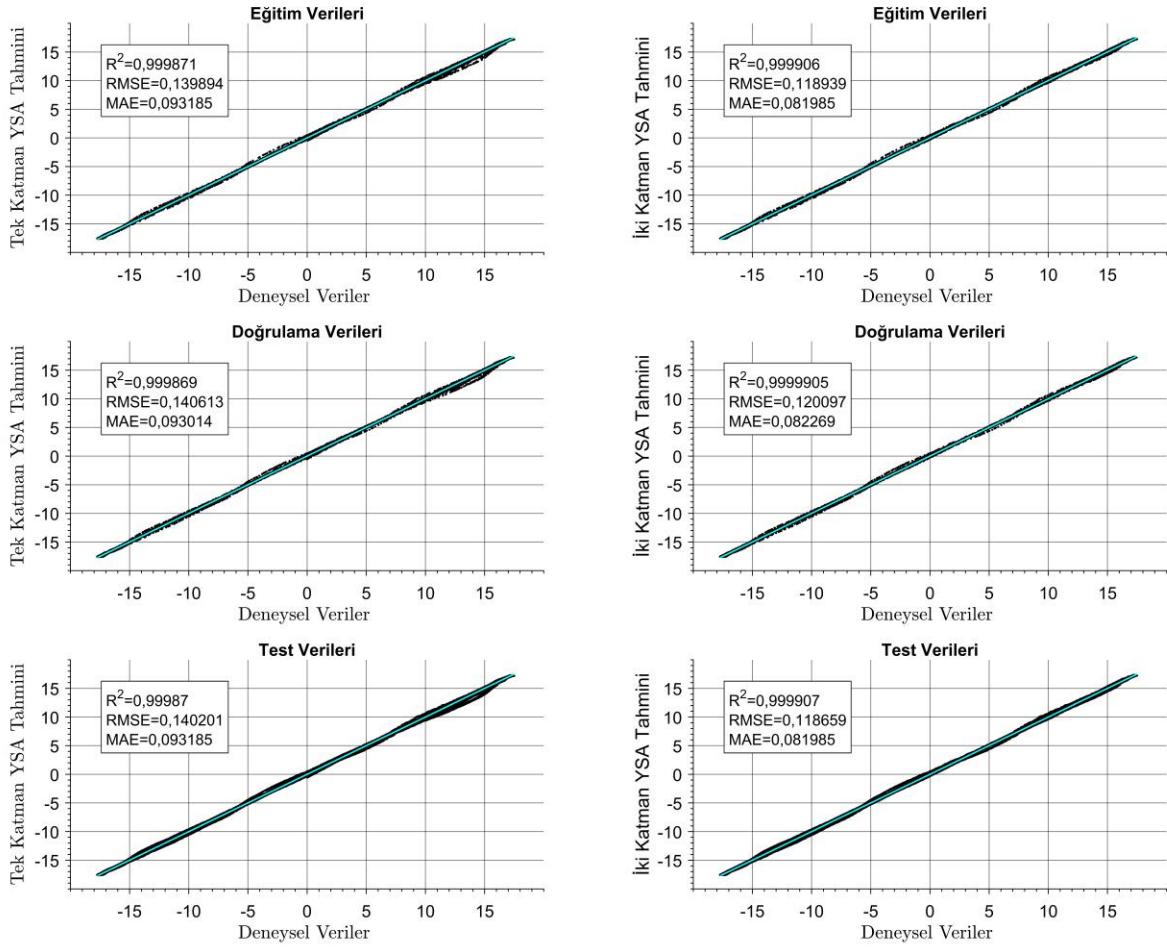
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_j| \quad (6)$$

Tablo 3 ve Şekil 6' da YSA modellerinin eğitim, doğrulama ve test verileri üzerindeki performansı ilgili metrikler ile sunulmuştur. Sunulan şekiller ve tablolarda, incelenen parametreler arasında elde edilen en iyi sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 3. YSA çıktıları  $R^2$ , RMSE ve MAE değerleri

Fonksiyon	Metrik	Eğitim	Doğrulama	Test
<b>Tek katman</b>				
logsig-purelin-4-trainbr	$R^2$	0,999871	0,999869	0,99987
	RMSE	0,139894	0,0140613	0,140201
	MAE	0,093185	0,093014	0,093185
<b>İki katman</b>				
logsig-tansig-pureln-4-3-trainlm	$R^2$	0,999906	0,999905	0,999907
	RMSE	0,118938	0,120097	0,118659
	MAE	0,081985	0,082269	0,081985





Şekil 6. Kol-kızak mekanizması yapay zekâ modellerinin eğitim doğrulama ve test verileri ile uyumu

Eğitim kombinasyonları içerisinde, mekanizma çıktıları için iki katmanlı YSA modelinin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. İki katmanlı YSA modelinde en iyi tahmin, gizli katmanlarda losigmoid ve tansigmoid, çıkış katmanında ise pürelin aktivasyon fonksiyonlarının bulunduğu, ilk gizli katmanında 4 nöron ve ikinci gizli katmanında ise 3 nöron bulunan yapıda, 0,118938 RMSE ve 0,081985 MAE değerleri ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar, katman ve nöron sayısının artışının, YSA modelinin tahmin başarısını belirgin şekilde iyileştirebileceğini göstermektedir. Özellikle, aktivasyon fonksiyonlarının ve nöron sayısının doğru kombinasyonu, mekanizmanın dinamik çıktıları daha doğru bir şekilde modellememizi sağlamıştır. Dolayısıyla, model optimizasyonu sürecinde bu tür yapılandırmaların üzerinde durulması, genel ağ performansını artırma potansiyeline sahiptir.

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, mekanizma uzuvlarının farklı 3B yazıcı üretim parametrelerinin mekanizmanın çıkış uzvunun konumuna olan etkileri incelenmiştir. Deneysel bir sistem kurularak çıkış uzvunun konum değişkenleri detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve YSA tabanlı bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla çalışmada kol-kızak mekanizması model mekanizma olarak kullanılmıştır. Mekanizmanın krank uzvu, farklı yazdırma parametreleri belirlenerek 3B yazıcı ile üretilmiştir. Aynı zamanda referans parametreleri elde etme amacıyla, Alüminyum malzemeden üretilmiş rijit krank uzvu kullanılmış ve rijit uzuvlu mekanizma ile 3B yazdırılmış uzuvlu mekanizmaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Deneysel sistemden elde edilen çıkış uzvu konum değişkenlerine bakıldığında, %100 dolulukta yazdırma açısından bağımsız olarak, konum değerleri rijit uzuvlu mekanizma sonuçlarını çok yakın takip ederken, doluluk oranı ve kalınlık azaldıkça yazdırma açısı etkileri daha iyi görülmektedir.

Her ne kadar farklı yazdırma açıları arasındaki sonuçlar birbirine benzer olsa da  $45^\circ$  yazdırma açısı, rijit uzuvlu mekanizmaya en yakın performansı göstermiştir. Doluluk oranı %50'ye düşürüldüğünde, iç yoğunluğun azalması ve malzeme kalınlığının düşmesi, yazdırma açılarının etkisini daha belirgin hale getirmiştir. Özellikle, daha ince ve esnek parçalarda yazdırma açısının etkisi daha net olarak gözlemlenmiştir. 30 mm ve 28 mm kalınlıklarda  $45^\circ$

yazdırma açısı, rijit mekanizmaya en yakın sonuçları verirken, 26 mm ve 24 mm kalınlıklarda 90° derece yazdırma açısı en iyi uyumu sağlamıştır.

Ayrıca, deneysel sonuçlardan elde edilen veriler YSA ile modellenmiştir. Tek katmanlı YSA modelleri içerisinde en iyi tahmini "logsig-purelin-4-trainbr" YSA yapısı ve iki katmanlı YSA modelinde ise en iyi tahmini -logsig-tansig-pureln-4-3-trainlm" YSA yapısı gerçekleştirmiştir. Bu iki yapının istatistiksel sonuçları karşılaştırıldığında ise en iyi sonucun iki katmanlı YSA yapısında elde edildiği görülmektedir. Bu durum, mekanizmalarda YSA'nın, özellikle karmaşık ve dinamik davranışların modellenmesinde üstün bir yöntem olduğunu göstermektedir. Yapay sinir ağlarının bu tür mekanik sistemlerde etkili bir şekilde kullanılabilmesi, gelecekte daha optimal tasarımların ve işlemlerin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

## 6. Kaynakça

- [1] Gong, J., Yu, Z., & Chang, H. K. 2022. Dynamic Analyses of Whitworth Quick Return Mechanism. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 50(4), 883-901.
- [2] Beale, D. G., & Scott, R. A. 1990. The stability and response of a flexible rod in a quick return mechanism. *Journal of Sound and Vibration*, 141(2), 277-289.
- [3] Sevim, Ç., Özmen, Ö., Parlak, M., & Uzmay, İ. 2024. Impact of printing parameters on the dynamic outputs of a slider-crank mechanism with FFF-based 3D-printed crank-arms. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 14644207241290497.
- [4] Tanveer, M. Q., Mishra, G., Mishra, S., Sharma, R. 2022. Effect of infill pattern and infill density on mechanical behaviour of FDM 3D printed Parts-a current review. *Mater. Today: Proc.* 62, 100-108.
- [5] Goh, G. D., Goh, G. L., Lyu, Z., Ariffin, M. Z., Yeong, W. Y., Lum, G. Z., Wong, H. Y. A. 2022. 3D Printing of Robotic Soft Grippers: Toward Smart Actuation and Sensing. *Adv. Mater. Technol.* 7(11), 2101672.
- [6] Kumar, M., Varshney, A., Taufik, M. 2023. Hand prosthetics fabrication using additive manufacturing. *Mater. Today: Proc.*
- [7] Park, J., Chang, M., Jung, I., Lee, H., Cho, K. 2024. 3D Printing in the Design and Fabrication of Anthropomorphic Hands: A Review. *Adv. Intell. Syst.* 6(5), 2300607.
- [8] Liu, S., Van, M., Chen, Z., Angeles, J., Chen, C. 2021. A novel prosthetic finger design with high load-carrying capacity. *Mech. Mach. Theory.* 156, 104121.
- [9] Kashef, S. R., Amini, S., Akbarzadeh, A. 2020. Robotic hand: A review on linkage-driven finger mechanisms of prosthetic hands and evaluation of the performance criteria. *Mech. Mach. Theory.* 145, 103677.
- [10] Tan, N., Gu, X., Ren, H. 2018. Design, characterization and applications of a novel soft actuator driven by flexible shafts. *Mech. Mach. Theory.* 122, 197-218.
- [11] Lalegani Dezaki, M., Sales, R., Zolfagharian, A., Yazdani Nezhad, H., Bodaghi, M. 2023. Soft pneumatic actuators with integrated resistive sensors enabled by multi-material 3D printing. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 128, 4207-4221.
- [12] Wu, T., Liu, Z., Ma, Z., Wang, B. 2024. Multibody dynamic modeling and motion analysis of flexible robot considering contact. *Multibody Syst. Dyn.* 1-33.
- [13] Sibilska-Mroziewicz, A., Możaryn, J., Hameed, A., Fernández, M. M., Ordys, A. 2022. Framework for simulation-based control design evaluation for a snake robot as an example of a multibody robotic system. *Multibody Syst. Dyn.* 55(4), 375-397.
- [14] Molaei, A., Foomany, N. A., Parsapour, M., Dargahi, J. 2022. A portable low-cost 3D-printed wrist rehabilitation robot: Design and development. *Mech. Mach. Theory.* 171, 104719.

- [15] Triwiyanto, Wakidi, L. F., Caesarendra, W., Rizal, A., Ahmed, A. A., Abdullayev, V. H. 2023. A Review of 3D Printing Technology for the Development of Exoskeletons for Upper Limb Rehabilitation. International Conference on Electronics, Biomedical Engineering, and Health Informatics, 643-663. Springer Nature Singapore, Singapore.
- [16] Yildiz, I. 2018. A low-cost and lightweight alternative to rehabilitation robots: omnidirectional interactive mobile robot for arm rehabilitation. Arab. J. Sci. Eng. 43, 1053-1059.
- [17] Hargrove, B., Nastevska, A., Frecker, M., Jovanova, J. 2022. Pseudo rigid body model for a nonlinear folding compliant mechanism. Mech. Mach. Theory. 176, 105017.
- [18] Jagtap, S. P., Deshmukh, B. B., Pardeshi, S. 2021. Applications of compliant mechanism in today's world–A review. J. Phys.: Conf. Ser. 1969(1), 012013.
- [19] Erkaya, S., Uzmay, I. 2008. A neural–genetic (NN–GA) approach for optimising mechanisms having joints with clearance. Multibody System Dynamics, 20(1):69–83.
- [20] Erkaya, S., Uzmay, I. 2009. Investigation on effect of joint clearance on dynamics of four-bar mechanism. Nonlinear Dynamics, 58(1):179–198.
- [21] Erkaya, S., Uzmay, I. 2009. Optimization of transmission angle for slider-crank mechanism with joint clearances. Structural and Multidisciplinary Optimization, 37(5):493–508.
- [22] Özmen, Ö., Sinanoğlu, C., Batbat, T., Güven, A. 2019. Prediction of slipper pressure distribution and leakage behaviour in axial piston pumps using ANN and MGPP. Mathematical Problems in Engineering, 2019(1), 7317520.
- [23] Kaleeswaran, V., Dhamodharavadhani, S., Rathipriya, R. 2020. A comparative study of activation functions and training algorithm of NAR neural network for crop prediction. 2020 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), 1073-1077. IEEE.
- [24] Danilin, S. N., Makarov, V. V., Shchanikov, S. A. 2014. Design of artificial neural networks with a specified quality of functioning. 2014 International Conference on Engineering and Telecommunication, 67-71. IEEE.
- [25] Chen, J. C., Wang, Y. M. 2020. Comparing activation functions in modeling shoreline variation using multilayer perceptron neural network. Water, 12(5), 1281.
- [26] Özmen, Ö., Sinanoğlu, C., Batbat, T., Güven, A. 2019. Prediction of slipper pressure distribution and leakage behaviour in axial piston pumps using ANN and MGPP. Mathematical Problems in Engineering, 2019.